

## © EPODOC / EPO

**PN** - JP5146426 A 19930615  
**TI** - SCATTERING LINE TOMOGRAPHY AND SCATTERING LINE TOMOGRAPHY DEVICE  
**FI** - A61B6/03&310A  
**PA** - YOKOGAWA MEDICAL SYST  
**IN** - NAGAI HIDEO  
**AP** - JP19910316411 19911129  
**PR** - JP19910316411 19911129  
**DT** - I

## © PAJ / JPO

**PN** - JP5146426 A 19930615  
**TI** - SCATTERING LINE TOMOGRAPHY AND SCATTERING LINE TOMOGRAPHY DEVICE  
**AB** - PURPOSE: To realize the scattering line tomography and its device by which scanning is executed one-dimensionally, the photographing time is shortened, and the exposure dose is extremely small.  
- CONSTITUTION: Pencil beam-like X rays XR are made incident on a body to be measured. In X rays scattered from plural discrete points existing on a straight line of an incident path, only a scattering line of a specific angle is allowed to pass through by slits SL 1, SL2 of a shape for forming a concentric circle or a part of a concentric circle, detected by a detector element DE 1 of a detector DET of the same shape as the slits SL 1, SL2 and a collection of data is executed, and when irradiation on all straight lines of a straight line  $x=x_j$  is finished, imaging is executed by using the data.  
**I** - A61B6/03  
**PA** - YOKOGAWA MEDICAL SYST LTD  
**IN** - NAGAI HIDEO  
**ABD** - 19930921  
**ABV** - 017523  
**GR** - C1113  
**AP** - JP19910316411 19911129

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-146426

(43) 公開日 平成5年(1993)6月15日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

A 6 1 B 6/03

識別記号 庁内整理番号

3 1 0 A 8826-4C

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数7(全18頁)

(21) 出願番号 特願平3-316411

(22) 出願日 平成3年(1991)11月29日

(71) 出願人 000121936

横河メデイカルシステム株式会社

東京都日野市旭が丘4丁目7番地の127

(72) 発明者 長井 秀夫

東京都日野市旭が丘4丁目7番地の127

横河メデイカルシステム株式会社内

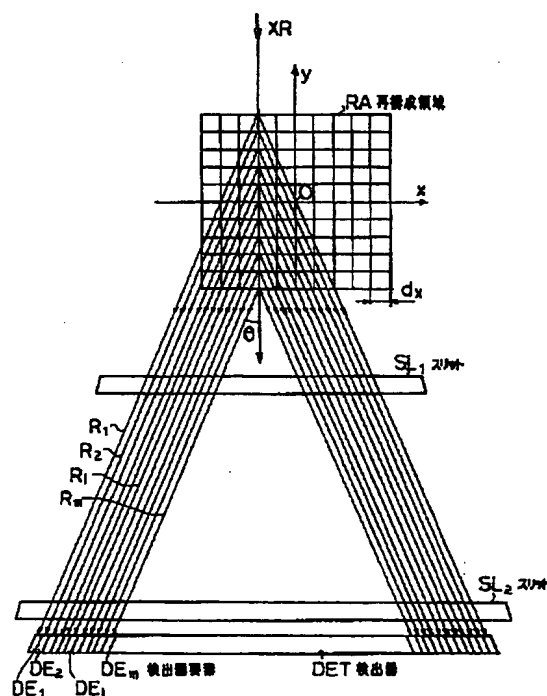
(74) 代理人 弁理士 井島 藤治 (外1名)

(54) 【発明の名称】 散乱線トモグラフィ及び散乱線トモグラフィ装置

(57) 【要約】

【目的】 走査を1次元的に行い、撮影時間を短くし、被曝線量の極めて少ない散乱線トモグラフィ及び装置を実現することである。

【構成】 被測定体にペンシルビーム状のX線XRを入射させ、入射経路の直線上にある複数の離散点から散乱されるX線のうち、同心円又は同心円の一部を成す形状のスリットSL<sub>1</sub>、SL<sub>2</sub>により特定の角度の散乱線のみを通過させ、前記スリットSL<sub>1</sub>、SL<sub>2</sub>と同様な形状の検出器DETの検出器要素DE<sub>i</sub>により検出してデータの収集を行い、直線x=x<sub>i</sub>のすべての直線上における照射が終れば、上記のデータを用いてイメージングを行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 被測定体にペンシル・ビーム状の放射線 (XR) を入射させ、入射経路の直線上にある複数の離散点から散乱される放射線を、前記ビーム状放射線 (XR) の進行方向に対し垂直な面においてその形状が同心円又は同心円の一部を成し、その空隙が前記ビーム状放射線 (XR) の進行方向に対して一定の角度を有するスリット (SL<sub>1</sub>, SL<sub>2</sub>) により同時に抽出し、抽出され離散化された複数の散乱放射線を前記スリット (SL<sub>1</sub>, SL<sub>2</sub>) と同様の形状を成す複数の検出器要素 (DE<sub>i</sub>) により検出してデータの収集を行い、収集されたデータを用いて散乱線による被測定体のイメージングを行うことを特徴とする散乱線トモグラフィ。

【請求項2】 被検体を含む再構成領域 (RA) の2次元断面上に x, y 座標を取り、ペンシルビーム状の放射線 (XR) を y 軸の一方から y 軸に平行な直線  $x = x_1$  上に入射させ、該直線上の複数の離散的な各座標点から散乱される放射線を、請求項1記載の方法により検出してデータの収集を行い、前記放射線ビーム (XR) の入射位置を前記再構成領域 (RA) に対し相対的に変化させ、前記 y 軸に平行な直線  $x = x_1$  のすべての直線上に入射させた各放射線ビーム (XR) に対する散乱放射線 (R<sub>i</sub>) を検出器要素 (DE<sub>i</sub>) により検出してデータの収集を行い、収集したデータを用いて散乱放射線 (R<sub>i</sub>) による被測定体の2次元イメージングを行うことを特徴とする散乱線トモグラフィ。

【請求項3】 被測定体を含む3次元の再構成領域 (RA) を複数の2次元断面に分割し、各2次元断面に対し請求項2記載の方法によりデータの収集を行った後、前記2次元断面に関する2次元のイメージングを行い、これによってすべての分割した前記2次元断面に対して行うことにより被測定体の3次元イメージングを行うことを特徴とする散乱線トモグラフィ。

【請求項4】 被測定体を収納するためのテーブル (TA) と測定のための放射線源 (XG) と検出器 (DET) とを有するガントリ (G) と、前記テーブル (TA) 及びガントリ (G) の動作を制御するテーブル・ガントリ制御装置 (TGC) と、データを収集するデータ収集装置 (DAS) と、データを処理し画像再構成を行うデータ処理装置 (DP) とを有する散乱線トモグラフィ装置において、

前記放射線源 (XG) から被測定体に照射され、その透過経路上において散乱された放射線を通過させて一定の角度で散乱される放射線を選択するための少なくとも同心円の一部をなす形状を有する少なくとも1個のスリット (SL<sub>1</sub>, SL<sub>2</sub>) と、

該スリット (SL<sub>1</sub>, SL<sub>2</sub>) と等価な形状を有し、該スリット (SL<sub>1</sub>, SL<sub>2</sub>) を通過した放射線を検出することのできる位置に検出器要素 (DE<sub>i</sub>) を有する検出器 (DET) と、

該検出器 (DET) で検出されたデータを収集するデータ収集装置 (DAS) とを具備することを特徴とする散乱線トモグラフィ装置。

【請求項5】 検出器 (DET) と検出器要素 (DE<sub>i</sub>) は、入射される放射線を光に変換する蛍光面 (FRS) と、該蛍光面 (FRS) に結んだ蛍光像による光を電子に変換する光電面 (PES) と、該光電面 (PES) から出射される電子を増倍するマイクロ・チャンネル・プレート (MCP) 及び増倍された電子を収集するその配置の形状が少なくとも同心円の一部を成す複数のマルチ・アノード (MAN) とから構成されることを特徴とする請求項4記載の散乱線トモグラフィ装置。

【請求項6】 検出器 (DET) と検出器要素 (DE<sub>i</sub>) は、入射される放射線を光に変換する第1の蛍光面 (FRS<sub>1</sub>) と、該第1の蛍光面 (FRS<sub>1</sub>) に結んだ蛍光像による光を電子に変換する第1の光電面 (PES<sub>1</sub>) と、該第1の光電面 (PES<sub>1</sub>) から出射される電子を集束する電子レンズを形成する集束手段 (FE) とマイクロ・チャンネル・プレート (MCP) のような電子増倍手段とのいずれか一方の手段と、該手段により増強された電子を光に変換して出射する第2の蛍光面 (FRS<sub>2</sub>) とを有するイメージ・インテンシファイア (II) と、

該イメージ・インテンシファイア (II) から入射される光を電子に変換する第2の光電面 (PES<sub>2</sub>) と、該第2の光電面 (PES<sub>2</sub>) の出力の電子を集束手段 (FC) 及び偏向手段 (DC) で走査し、必要に応じて電子増倍手段 (DN<sub>1</sub>, DN<sub>2</sub>) により増倍する撮像装置 (PUT) とから構成されることを特徴とする請求項4記載の散乱線トモグラフィ装置。

【請求項7】 イメージ・インテンシファイア (II) は、第1の光電面 (PES<sub>1</sub>) から出射される電子を集束する電子レンズを形成する集束手段 (FE) と、マイクロ・チャンネル・プレート (MCP) のような電子増倍手段とを具備することを特徴とする請求項6記載の散乱線トモグラフィ装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明はX線等の放射線を入射させ、被検体で散乱される放射線により非破壊的に被検体の内部構造に関する画像表示を行う散乱線トモグラフィ及び散乱線トモグラフィ装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 放射線CTは放射線を被検体に照射して、その透過によって減衰した放射線を検出器で検出し、これを被検体の全方向に亘って行い、得られたデータを画像再構成して断層の画像表示を行う装置である。以後放射線はX線についてのみ説明を行う。他の放射線の場合もX線についての説明と同様である。

【0003】 X線を用いて行うCTには上記のような透

3

過X線による通常のX線CTの他、散乱X線による散乱線トモグラフィがある。この方法はX線を被検体に照射して目標で散乱したX線のうち一定の角度で散乱したX線を検出して画像表示する方法である。

【0004】この散乱イメージングには次のような利点がある。

(イ) 通常のX線CTとは異なり、散乱源からの散乱線のみでイメージングできる。従って局部の撮影とイメージングができる。

【0005】(ロ) 撮影と同時にイメージを得る可能性があり、心臓等のリアルタイム・イメージングが期待される。

(ハ) 通常のX線CTは体軸に略垂直な断面しか撮影できないが、散乱イメージングでは、任意の方向の断面の撮影ができる。従って、任意の方向の解像力を等しく高めることができる。

【0006】(ニ) 物質又は組織(結晶構造、集合組織又は繊維組織、分子構造、物質の種類等)の同定が可能と言われている。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】上記のような利点を持っている散乱線トモグラフィにおいて、従来用いられている方式には次のような問題点がある。

【0008】(イ) 撮影しようとする断面を格子状に分割して考えると、y軸方向に1点ずつ走査してy軸方向の1ラインの走査が終ると、x軸方向に進め、y軸方向の走査を行う。このように従来の散乱イメージングの方法は2次元的に走査する必要があるため撮影に非常に時間がかかる。

【0009】(ロ) 撮影は被検体を2次元的に走査するために、X線の被曝量が非常に多い。本発明は上記の点に鑑みてなされたもので、その目的は、走査を1次元に行い、撮影時間を短くすることのできる散乱線トモグラフィ及びその装置を実現することにある。

【0010】他の目的は従来の散乱線トモグラフィ及び装置に比べて被曝線量の極めて少ない散乱線トモグラフィ及び装置を実現することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】前記の課題を解決する本発明は、被測定体にペンシル・ビーム状の放射線を入射させ、入射経路の直線上にある複数の離散点から散乱される放射線を、前記ビーム状放射線の進行方向に対し垂直な面においてその形状が同心円又は同心円の一部を成し、その空隙が前記ビーム状放射線の進行方向に対して一定の角度を有するスリットにより同時に抽出し、抽出され離散化された複数の散乱放射線を前記スリットと同様の形状を成す複数の検出器要素により検出してデータの収集を行い、収集されたデータを用いて散乱線による被測定体のイメージングを行うことを特徴とするものである。

4

【0012】又、第2の発明は、被検体を含む再構成領域の2次元断面上にx、y座標を取り、ペンシルビーム状の放射線をy軸の一方からy軸に平行な直線 $x = x_1$ 上に入射させ、該直線上の複数の離散的な各座標点から散乱される放射線を、請求項1記載の方法により検出してデータの収集を行い、前記放射線ビームの入射位置を前記再構成領域に対し相対的に変化させ、前記y軸に平行な直線 $x = x_1$ のすべての直線上に入射させた各放射線ビームに対する散乱放射線を検出器要素により検出してデータの収集を行い、収集したデータを用いて散乱放射線による被測定体の2次元イメージングを行うことを特徴とするものである。

【0013】又、第3の発明は、被測定体を含む3次元の再構成領域を複数の2次元断面に分割し、各2次元断面に対し請求項2記載の方法によりデータの収集を行った後、前記2次元断面に関する2次元のイメージングを行い、これをすべての分割した前記2次元断面に対して行うことにより被測定体の3次元イメージングを行うことを特徴とするものである。

【0014】又、第4の発明は、被測定体を収納するためのテーブルと測定のための放射線源と検出器とを有するガントリと、前記テーブル及びガントリの動作を制御するテーブル・ガントリ制御装置と、データを収集するデータ収集装置と、データを処理し画像再構成を行うデータ処理装置とを有する散乱線トモグラフィ装置において、前記放射線源から被測定体に照射され、その透過経路上において散乱された放射線を通して一定の角度で散乱される放射線を選択するための少なくとも同心円の一部をなす形状を有する少なくとも1個のスリットと、該スリットと等価な形状を有し、該スリットを通過した放射線を検出することのできる位置に検出器要素を有する検出器と、該検出器で検出されたデータを収集するデータ収集装置とを具備することを特徴とするものである。

【0015】又、第5の発明は、検出器と検出器要素は、入射される放射線を光に変換する蛍光面と、該蛍光面に結んだ蛍光像による光を電子に変換する光電面と、該光電面から出射される電子を増倍するマイクロ・チャネル・プレート及び増倍された電子を収集するその配置の形状が少なくとも同心円の一部を成す複数のマルチ・アノードとから構成されることを特徴とするものである。

【0016】又、第6の発明は、検出器と検出器要素は、入射される放射線を光に変換する第1の蛍光面と、該第1の蛍光面に結んだ蛍光像による光を電子に変換する第1の光電面と、該第1の光電面から出射される電子を集束する電子レンズを形成する集束手段とマイクロ・チャネル・プレートのような電子増倍手段とのいずれか一方の手段と、該手段により増強された電子を光に変換して出射する第2の蛍光面とを有するイメージ・インテ

ンシファイアと、該イメージ・インテンシファイアから入射される光を電子に変換する第2の光電面と、該第2の光電面の出力の電子を集束手段及び偏向手段で走査し、必要に応じて電子増倍手段により増倍する撮像装置とから構成されることを特徴とするものである。

【0017】又、第7の発明は、イメージ・インテンシファイアは、第1の光電面から出射される電子を集束する電子レンズを形成する集束手段と、マイクロ・チャンネル・プレートのような電子増倍手段とを具備することを特徴とするものである。

【0018】

【作用】ペンシルビーム状の放射線の入射経路のy軸に平行な直線上の複数の離散点から散乱される放射線のうち、特定の角度で散乱される放射線のみを入射放射線の進行方向に対して垂直な面において同心円又は同心円の一部を成す形状のスリットを通過させ、同様な形状の検出器で検出してデータ収集を行う。次に、放射線源をx軸に平行な方向に移動して同様に照射を行い、これを検出してデータ収集を行い、y軸に平行な直線 $x=x_1$ のすべての直線上における照射が終了後、上記のデータを用いてイメージングを行う。

【0019】

【実施例】以下、図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

#### 実施例1

図1は本発明の一実施例の装置のブロック図である。図において、TAは被検体BDYを載置して、ガントリGの被検体収納孔に収納するためのテーブルである。XGは被検体を収容した再構成領域RAにX線を放射するX線発生源、DETはX線発生源XGから照射されたX線を検出する検出器である。SL<sub>1</sub>はX線発生源XGから照射され、被検体BDYで散乱させられたX線のうち特定の方向のX線のみを選択して通過させる同心円状に作られたスリット、SL<sub>2</sub>は同様な動作をする同心円状のもう一つのスリットである。

【0020】ここで、このガントリGにおける撮影系の構成例を図2に示す。図において、図1と同一の部分には同一の符号を付してある。再構成領域RAを図示のように矩形又は正方形と考えて、横軸をx軸、縦軸をy軸とする。この再構成領域RAに $y=y_i$  ( $i=1, 2, \dots, m$ )、 $x=x_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ )で表される直線から成る格子を定める。以後 $i, j$ は上記のように定義し、改めて記述はしない。

【0021】XRはy軸の上方から入射されるX線で、このX線が上記の $x=x_j$ 上の各格子点を次々と通過する時に、各格子点からコンプトン散乱やX線のエネルギーによってはトムソン散乱等によりX線が散乱されるが、その散乱線のうちX線XRと角度 $\theta$ を成す成分の散乱線R<sub>i</sub>をスリットSL<sub>1</sub>、スリットSL<sub>2</sub>の同心円状の空隙により、同時に一括抽出し、検出器DETの各検

出器要素DE<sub>i</sub>で検出する。ここで、格子点からの散乱というのは多くの散乱X線のうち格子点から散乱される特定方向のX線のみを通過させることを意味する。

【0022】スリットSL<sub>1</sub>及びSL<sub>2</sub>の構造を図3に示す。図において、(イ)図は平面図、(ロ)図は(イ)図のS<sub>1</sub>-S<sub>1</sub>'断面図である。図中、 $h_1, h_2, \dots, h_1, \dots, h_n$ はX線が通過する空隙で、上下面に垂直な直線に対し、角度 $\theta$ の傾斜を持たせて作られている。

10 【0023】図4は検出器DETの構造の概要を示す図で、(イ)図は平面図、(ロ)図は(イ)図のS<sub>2</sub>-S<sub>2</sub>'断面図である。図において、DE<sub>1</sub>, DE<sub>2</sub>, ..., DE<sub>1</sub>, ..., DE<sub>n</sub>は検出器DETの検出器要素である。

【0024】図5は検出器DETの一例の構造を示す図である。図において、IRWはX線が入射する入力窓、FRBは蛍光面基板、FRSは入射窓から入射されるX線を光に変換する蛍光面である。PESは蛍光面FRSからの光を受けて電子を放出する光電面、MCPは細い管状二次電子増倍器を束ね電子像の増倍に適する構造としたマイクロ・チャンネル・プレート(Micro Channel Plate)である。MANはマイクロ・チャンネル・プレートMCPで増倍された電子を吸引捕捉するための多数のアノードから成るマルチアノードで、同心円状に配列されている。又、この検出器の主な構成要素は、真空の管や真空容器に納められている。この検出器DETにおいて、入射光線は蛍光面FRSで光に変換され、光電面PESで電子として放出され、マイクロ・チャンネル・プレートMCPで二次電子増倍機能により増倍されて、マルチアノードMANで電流になって出力される。

30 【0025】図6は本実施例で用いられるマイクロ・チャンネル・プレートMCPの構造を示す図で、(イ)図は円形に構成されたマイクロ・チャンネル・プレートMCPの一部破断斜視図で、CHNはマイクロ・チャンネル・プレートMCPを構成するチャンネルである。(ロ)図はチャンネルCHNの動作説明図である。図に示すようにマイクロ・チャンネル・プレートMCPは多数の10~25 $\mu$ mの微細径のチャンネルCHNの集合体として円筒状に構成されている。チャンネルCHNは(ロ)図に示すように、二次電子放出比の高い材料の細管を両端に電極を付けて真空中に封入したもので、管軸方向に電圧を加える。負極側のチャンネル内壁CIWに電子を入射して衝突させると、二次電子が放出され、この二次電子は自身の速度と軸方向電界による加速の結果、放物線を描いて再びチャンネル内壁CIWに衝突して、更に多量の二次電子を放出する。これを繰り返して入力電子は増倍された出力電子となる。

50 【0026】図7はマイクロ・チャンネル・プレートMCPに関連する電気回路の図である。図において、図5と同一の部分には同一の符号を付してある。図に示すよう

7

に光電面(光陰極)PESに電源E<sub>1</sub>の負側を接続し、マイクロ・チャンネル・プレートMCPの電子入力側に電源E<sub>1</sub>の正側を接続し、光電面PESから発生する光電子をこの電界により吸引加速する。又、マイクロ・チャンネル・プレートMCPの電子入射側に電源E<sub>1</sub>の負側を接続し、電子出力側に電源E<sub>1</sub>の正側を接続して二次電子を放出させる。マルチアノードMANにそれぞれ抵抗 $r_1, r_2, \dots, r_n$ を介して電源E<sub>2</sub>の正側を接続して、マイクロ・チャンネル・プレートMCPからの二次電子を受け入れ、 $c_1, c_2, \dots, c_n$ 端子から出力している。

【0027】図1に戻り、TGCはテーブルTAやガントリGの動きを制御するテーブル・ガントリ制御装置で、測定に必要な運動を行わせる。XGCはX線発生源XGによるX線発生の制御を行うX線発生制御装置、SCCはオペレータとのコミュニケーションを行い、データ処理装置DPの動作を制御し、テーブル・ガントリ制御装置TGC及びX線発生制御装置XGCの動作を制御する等、断層像撮影に関する統一的な制御を行う操作・撮影制御装置である。

【0028】データ処理装置DPはデータ収集装置DASからの入力データにX線強度補正、X線線質硬化補正等の各種補正処理を行い、補正されたデータに画像再構成処理を施し、散乱X線の強度の空間分布を計算する等のデータ処理を行う。

【0029】AMはデータ処理演算を行うまでのデータを格納し、又、データ処理装置DPに読み出されて画像再構成されたイメージデータを格納する大容量記憶装置である。GDCは画像再構成されたイメージデータを画像として表示する画像表示装置である。

【0030】次に、上記のように構成された実施例の装置の動作を本方式による断層像撮影の原理の説明を行いながら説明する。被検体BDYをテーブルTAに載置しガントリGの所定の位置に挿入する。以後、操作・撮影制御装置SCCの制御により、テーブル・ガントリ制御装置TGCと、X線発生制御装置XGCとは測定動作を行う。

【0031】ガントリGを動かして、撮影しようとする断面である再構成領域RAを選択する。この再構成領域RAを図2のように矩形状に設定し、そのアイソセンタである中心を0、直交座標軸を $x, y$ とする。X線XRをペンシル・ビームとして、 $y$ 軸の正の方向から負の方向へ $y$ 軸に平行に入射させるようにX線発生源XGの向きを定め、X線XRが設定した再構成領域RAの左端(若しくは右端)にくるようにテーブル・ガントリ制御装置TGCはガントリGを制御する。

【0032】X線発生源XGはX線XRを発生して再構成領域RAに入射する。X線XRは再構成領域RA内の被検体により散乱されるが、スリットSL<sub>1</sub>、スリットSL<sub>2</sub>により $y$ 軸に対し角度 $\theta$ を成す散乱線のうち、ベ

8

ンシル・ビームX線XRが入射された直線上の格子点で散乱された散乱線R<sub>1</sub>が検出器DETのそれぞれ対応する検出器要素DE<sub>1</sub>で検出される。

【0033】検出器DETで検出された散乱線R<sub>1</sub>によるデータはデータ収集装置DASによって収集され、大容量記憶装置AMに格納される。テーブル・ガントリ制御装置TGCはガントリGを制御して、再構成領域RAに対し、X線XRの発生位置であるX線発生源XGの位置を $x$ 軸の正(若しくは負)方向にそのサンプル間隔 $d$ だけ移動し、その位置で上記のようにX線XRを照射し、検出器DETで検出して、上記と同様に $m$ 個のデータを収集する。その間隔が $d$ である $y$ 軸に平行なすべての直線 $x=x_1$ の各位置において繰り返し実施し、全データを収集する。データ処理装置DPは全データの収集が終るまで、送られてきたデータを大容量記憶装置AMに格納する。

【0034】全データの収集が終った段階で、データ処理装置DPは、大容量記憶装置AMに格納されているデータを読み出し、入力X線の強度補正、X線線質硬化補正等各種の補正処理を行った後、画像再構成を行う。画像再構成されたデータは画像表示装置GDCに表示される。

【0035】以上説明したように、本実施例の装置によれば、X線発生源XGの移動は $x$ 軸方向のみで、 $y$ 軸方向には1回のX線照射によって $y$ 軸に平行な直線 $x=x_1$ の各格子点で散乱するX線のうち、スリットSL<sub>1</sub>、SL<sub>2</sub>の構造に基づいて一定の角度で検出器DETに入射される散乱線を検出することにより、 $y$ 軸方向に移動する必要がなくなり1次元の走査で済むようになる。又、 $y$ 軸方向の散乱線は散乱によりその強度が減弱するため、検出するX線強度をマイクロ・チャンネル・プレートMCPのような二次電子増倍器を用いることにより増大している。尚、図5は概念的なブロック図で、形状、寸法、構造のすべてを正確に描いたものではない。

#### 【0036】実施例2

図8は散乱線トモグラフィ装置の他の実施例の検出器DET、検出器要素DEの構成を示す図である。図において、IIは蛍光面-光電面-電子レンズ-蛍光面という構造を持ち、微弱なX線を蛍光面で光に変換し、その光を光電面で電子に変換した後、集束電極等の電子レンズにより電子を集束して増強し、出力側の蛍光面で可視像に変換するイメージ・インテンシファイア、PUTはイメージ・インテンシファイアIIの可視像を撮像する撮像装置である。この検出器DETは入射されたX線をイメージ・インテンシファイアIIの蛍光面で光に変換し、この光を光電子に変換した後電子レンズにより集束増強して出力蛍光面で画像化し、これを二次電子増倍を行って増幅する機能を持つ撮像装置PUTにより電気信号に変換して出力する。

【0037】図9はイメージ・インテンシファイアII

の構成例を示す図である。(イ)図はイメージ・インテンシファイアIIの断面図、(ロ)図は(イ)図のA部の拡大断面図である。(イ)図において、AIWはX線が入射されるアルミニウム入力窓、IFは入射されたX線が衝突して蛍光を発生し、その蛍光像を電子に変換する入力面である。(ロ)図はアルミニウム入力窓AIW、入力面IFを含む(イ)図のA部の拡大図である。図において、FRS<sub>1</sub>はX線を受けて蛍光を発生する蛍光面である。PESは蛍光面FRS<sub>1</sub>で形成された蛍光像による光を受けて光電子を出力する光電面である。入力面IFは蛍光面基板FRB、蛍光面FRS<sub>1</sub>及び光電面PESで構成されている。

【0038】(イ)図に戻り、FEは光電面PES<sub>1</sub>から出される光電子を集束する電子レンズを構成する集束電極、FRS<sub>2</sub>は集束された光電子により蛍光を発生して蛍光像を作る蛍光面である。蛍光面FRS<sub>2</sub>に形成された蛍光像は出力光として出力され、撮像装置PUTにより撮像される。

【0039】図10は撮像装置PUTの一実施例であるイメージ・ディセクタの構造図である。図において、PES<sub>2</sub>はイメージ・インテンシファイアIIからの出力光を受けて光電子を放射する光電面である。AEは光電子をアパーチャプレートAPに至る間に加速させるための加速電極で、この間に光電子は集束コイルFCで集束され、偏向コイルDCで偏向されて、1画素ずつの画像が送られる。この偏向のための制御信号はデータ収集装置DASから入力される。光電面PES<sub>2</sub>からアパーチャプレートAPまでの部分がイメージ部、偏向コイルDCによる外部磁界で偏向をかけ、光学像のある一点からの光電子をアパーチャプレートAPの孔HLに集めて増幅部に送り出す。増幅部はブランピング電極BE、第1ダイノードDN<sub>1</sub>、ダイノード群DN<sub>2</sub>及び陽極PLTで構成されている。孔HLを通過した光電子は陽極PLTに吸引されるが、第1ダイノードDN<sub>1</sub>及びダイノード群DN<sub>2</sub>により二次電子増倍されて陽極PLTから画像信号として出力される。

【0040】図11は図8～図10に示した検出器DETの出力データを処理するデータ収集装置DASの構成図である。図において、AMPは撮像装置PUTから入力される信号を増幅する増幅器、OPA<sub>1</sub>は帰還抵抗r<sub>1</sub>と抵抗R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>とで加算器を構成している演算増幅器で、増幅器AMPの出力(電圧V<sub>1</sub>に比例する値)と、後段のサンプル・ホールド回路SHにホールドされている直前までのデータの加算演算結果(電圧V<sub>2</sub>に比例する値)とを加算して、その結果をサンプル・ホールド回路SHに取り込み、格納保持する。OPA<sub>2</sub>は帰還抵抗R<sub>3</sub>と入力抵抗R<sub>4</sub>とで反転器を構成している演算増幅器で、演算増幅器OPA<sub>1</sub>において極性の反転した信号の極性を復元する。Cはサンプル・ホールド回路SHの出力を保持記憶するコンデンサである。SWはサン

プル・ホールド回路SHに新しいデータを取り込み格納するためのサンプル動作中はオフとなり、サンプル・ホールド回路SHの記憶及び保持動作を行うホールド動作中はオンとなるスイッチである。従って、スイッチSWはコンデンサCと相俟ってサンプル・ホールド回路SHのサンプル動作中も演算増幅器による加算器の正常な動作を保持する。

【0041】ADCはサンプル・ホールド回路SHの出力のアナログ信号をデジタル信号に変換するAD変換器、MMはAD変換器ADCの出力を格納する記憶装置である。

【0042】CTLはサンプル・ホールド回路SHとAD変換器ADCと記憶装置MMとスイッチSWとの動作を制御する制御装置で、撮像部偏向制御装置TDCに撮像装置PUTの電子の偏向のための制御信号を送る。撮像部偏向制御装置TDCは図10に示す撮像装置PUTの偏向の制御をすることにより、検出器DETの任意の同心円上のデータがタイムシリアルに読み出される。

【0043】データ収集装置DASの動作を説明する。撮像装置PUTの出力は増幅器AMPで増幅され、演算増幅器OPAに入力される。演算増幅器OPAの出力は、サンプル・ホールド回路SHにホールドされ、このデータは演算増幅器OPAにおいて次に入力されるデータによる増幅器AMPの出力と加算されて、累積加算結果がサンプル・ホールド回路SHに格納される。検出器DETの円周上の全データの加算が終了すると、そのデータはAD変換器ADCでデジタル信号に変換され、記憶装置MMに格納される。この動作を検出器DETのすべての円周上のデータについて繰り返し、すべての測定データを得る。

【0044】次に、上記の第2の実施例の動作を説明する。テーブル・ガントリ制御装置TGCによりガントリGを動かして、再構成領域RAにおいて撮影したい断面を選ぶ。更にX線XRが再構成領域RAの左端(又は右端)に来るようにガントリGを制御する。

【0045】X線発生源XGにX線XRを発生させて、X線XRと再構成領域RAの関係がy軸に平行な直線x=x<sub>1</sub>上での各格子点からの散乱線R<sub>1</sub>を検出器DETにより検出する。

【0046】検出器DETに導かれた散乱線R<sub>1</sub>は、イメージ・インテンシファイアIIに入射され、蛍光面FRS<sub>1</sub>で光に変換され、光電面PES<sub>1</sub>で電子に変換され、集束電極FEで集束され、陽極PLに達して光に変換された後、撮像装置PUTの入力面に入射される。入射光は光電面PES<sub>2</sub>に達して電子に変換されるが、この次々と変換され読み出される電子はデータ収集装置DASの撮像部偏向制御装置TDCにより一纏まりの散乱線R<sub>1</sub>に対応する図3、図4に示すスリットSL<sub>1</sub>、SL<sub>2</sub>及び検出器DETの同心円上の点を次々に走査して同心円上の対応するデータを次々と読み出して得られた



データに基づいている。

【0047】この電子は第1ダイノード $DN_1$ 及びダイノード群 $DN_2$ で増倍された後陽極PLTから取り出され、データとして出力される。この出力データをデータ収集装置DASに導き、増幅器AMPで増幅した後サンプル・ホールド回路SHにホールドされている直前までの加算データに加算し、これを次々と繰り返して、即ち、1つの同心円上の全データを次々と読み出し加算して散乱線 $R_1$ に対する検出データを得る。1つの同心円上の全データの加算が終了すると、AD変換器ADCによ

ってデジタル・データに変換される。

【0048】このようにして、y軸に平行な一つの直線上のすべての格子点に対応する各同心円上のm個のデータについて、各同心円毎にそのすべてのデータの加算データを得て、すべての散乱線 $R_1$ に対する検出データを収集する。

【0049】次にガントリGを制御して、再構成領域RAに対し、X線XRの発生位置をx軸の正(又は負)方向にそのサンプル間隔 $d$ 、だけ移動し、この位置で上記の場合と同様にm個のデータを収集する。これをすべての直線 $x=x_1$ について繰り返して行い、全データを収集する。

【0050】データ処理装置DPは収集したデータを使用して、入力X線の強度補正、X線線質硬化補正等各種の補正処理を行った後、画像再構成を行う。画像再構成されたデータは大容量記憶装置AMに格納されると共に、必要に応じて画像表示装置GDCに表示される。

【0051】以上説明したように本実施例によれば、X線発生源XGの照射位置をx軸方向にのみ動かすことによって断面像を得ることができ、2次元の走査の必要は

なく、撮影時間を短縮することができるようになる。

【0052】本実施例による散乱線トモグラフィでは次のようにして3次元イメージングを行うことができる。被測定体を含む3次元の撮影領域である再構成領域RAを複数の2次元断面に分割し、各2次元断面に対し上記の散乱線トモグラフィによるデータの収集を行ってその2次元断面に関する2次元のイメージングを行い、分割した複数の2次元断面のすべてに対してイメージングを行って、これを合成することにより3次元イメージングを得る。

【0053】尚、本発明は上記実施例以外に、次のような実施例や変形例が考えられる。

#### (1) スリットの変形例

スリット $SL_1$ 、 $SL_2$ の形状は図3に限定されない。例えば、表面、裏面は平面でなく、曲面でも良い。

【0054】又、スリットを2個の例で説明したが、3個以上でも良く、条件によれば1個でもよい。図3において、スリット $SL_1$ 、スリット $SL_2$ を厚みを大きく持たせて書いてあるが、X線の通過方向に薄いスリットを複数個重ねたものでも良く、又、薄いスリットを間隔

を開けて複数個設置したものでも良い。

#### 【0055】(2) 測定系の変形例

ペンシル・ビームX線の発生源として、通常のX線管球等のX線発生源にコリメータ、入力スリット、フィルタ等を挿入した構造のものでも良い。

【0056】スリットの設置位置を検出器の直前に配置するとは限らず、又、再構成領域の直後におくとも限らない。又、X線発生源の後にX線遮蔽体を挿入した構造のものでも良い。

【0057】更に又、検出器の前又は被検体と検出器の間に検出器でのX線検出を妨げないX線遮蔽体を挿入設置した構造のものであっても良い。又、X線XRの入射の方向を実施例ではy軸の正方向としたが、これに限定されずいずれの方向から入射させることもできる。この場合のX線XRの入射方向は、直交座標 $x, y$ に対してそのx軸又はy軸と必ずしも平行ではない。この場合に被検体BDY(再構成領域)に対するX線XRの入射位置の変更は、X線XRの入射方向に対して直角な方向にそのサンプル間隔ずつ移動して行う。

#### 【0058】(3) 検出器、検出器要素の変形例

検出器、検出器要素の形状は図4に限定されない。例えば、表面、裏面は平面でなく、曲面でも良い。

【0059】又、検出器及び検出器要素並びにスリットの構成は、各同心円の全周に亘る構成である必要はなく、円周の連続した一部分であっても良く、不連続なとびとびの一部分であっても良い。

【0060】又、実施例での検出器、検出器要素の構成は図5等に限定されない。例えば、蛍光面のようなシンチレータとフォト・ダイオード・アレイのような光電変換素子の組み合わせや半導体検出器でも良く、更にこれに増幅器を付加した構成でも良い。

#### 【0061】(4) 第1の実施例に対する変形例

図5に示した検出器において、マルチ・アノードの構成も各同心円の全周に亘った構成である必要はなく、円周の連続した一部分であっても良く、とびとびの不連続な一部分であっても良い。更に2次元の入力X線像の縮小された像を得る方式でも良い。例えば、蛍光面、光電面の後に集束電極を設けて光電子を集束する構造のものであっても良い。又、マイクロ・チャンネル・プレートが無くて良く、マイクロ・チャンネル・プレートは1段のみでなく、多段構成であっても良い。

#### 【0062】(5) 第2の実施例に対する変形例

イメージ・インテンシファイアIIの構造は図9のものに限定されない。例えば、2次元の入力X線像を縮小する構造(この場合はイメージとしてその強度が増倍される。)でなくとも良い。更に、2次元の入力X線像から変換された光電子像を縮小しないで直接マイクロ・チャンネル・プレートMCP等の増倍手段で強度を増倍しても良いし、電子レンズを形成する集束手段FE等の後にマイクロ・チャンネル・プレートMCP等の電子増倍手段を

設けた構造のものでも良い（この場合、電子レンズでの集束による増強とマイクロ・チャンネル・プレートMCP等の電子増倍による増強とが併用される）。

【0063】撮像装置PUTの構造は図10のものに限定されない。例えば、集束、偏向の方式にも、電磁集束と電磁偏向；静電集束と電磁偏向；電磁集束と静電偏向；静電集束と静電偏向等の組み合わせがあり、どの組み合わせを用いても良い。

【0064】又、撮像装置PUTには実施例のイメージ・ディセクタの他に、ビジコン、カルニコン、イメージ・オルシコン、SIT管及び撮像蓄積管等各種の方式のものがあり、何れの方式のものを用いても差支えない。

【0065】データ収集装置DASの構成は、図11のものに限定されない。例えば、増幅器AMPは必ずしも必要ではない。撮影部偏向制御装置TDCはデータ収集装置DASの外部例えば、図1の実施例において、制御装置として独立させてもよい。又、加算器の構成は演算増幅器OPA<sub>1</sub>と帰還抵抗 $r_1$ と抵抗 $R_1$ 、 $R_2$ によるものでなくてもよい。

【0066】 $x=x_1$  上に入射されるX線ビームXRから得られる散乱X線 $R_1$ に対して、撮像装置PUTの入力面に入射された像の走査方法、即ち入力2次元データ面の走査方法は、同心円状の走査に限定されない。例えば、2次元面を通常のテレビと同様に直線状に走査しても良い。この場合2次元面の最上部（又は最下部）の $x$ 軸に平行な直線上を走査し、次に、直ぐ下（又は直ぐ上）の $x$ 軸に平行な直線上を走査し、このような繰り返すすべての水平ラインについて走査する。

【0067】図12はこのような場合のデータ収集装置DASのブロック図である。図において、図11と同等の部分には同一の符号を用いてある。MM1、MM2はそれぞれデータ記憶装置である。この装置の動作は次のように行われる。

【0068】撮影部偏向制御装置TDCの制御により各水平線の走査を行い、各水平線の走査で逐次読み出したデータを逐次データ記憶装置MM1に格納する。図2に対応する各同心円上のデータをデータ記憶装置MM1から逐次読み出し、増幅器AMPで増幅し、サンプル・ホールド回路SHにホールドしてあるデータと加算してその結果のデータをサンプル・ホールド回路SHにホールドし、これを次々と繰り返して一つの同心円上の全データの加算結果のデータを得る。結果のデータをサンプル・ホールド回路SHにホールドする。1つの同心円上の全データの加算結果はAD変換器ADCによってデジタル・データに変換の後、データ記憶装置MM2に格納する。

【0069】すべての同心円上のデータについて前記と同様な読み出し加算を行い、すべての同心円上の検出データを求める。

(6) データ収集装置DASの変形

データ収集装置DASの構成は、第2の実施例では図11、図12としたがこれに限定されない。例えば、パルス回路で構成し、増幅器（前記増幅器、主増幅器等）、波高分析器（又は波高弁別器）、計数回路等で構成することも可能である。

【0070】又、X線から変換された光を高感度に測定するためには、フォトン・カウンティング法により、波高値を波高弁別器により識別する方法や、極微弱光の測定では、ノイズや迷光の除去等のために入射光をチョッパでオン、オフしてオン時のカウント値からオフ時カウント値を差し引いて行う方法（同期計数法；この構成例としては、チョッパ、アンプ、波高弁別器、メモリ付き減算器、同期信号発生用にLED、フォト・トランジスタ等による構成）が採られても良い。

(7) スキャンによるデータ収集と画像再構成の変形

図2での散乱角 $\theta$ が非常に小さい場合には、 $\tan \theta$ が非常に小さい値になり、検出器要素のサイズを小さくしたり検出系の開口幅を非常に小さく設定する必要がある。本実施例の検出器、検出器要素は（図5、図8～図10等）その点に十分に対応し得る構成となっている。しかし装置の構成や測定の条件により実現が困難な場合には（このような場合には、図2の再構成領域RAの $y$ 方向の解像力が $x$ 方向の解像力に比べかなり劣化する）、実施例に述べた方向での通常のスキャンによりデータ収集を行って画像を再構成し（これを直接モード散乱トモグラフィという）、被検体BDY（再構成領域）を固定したままで測定方向のみを90度回転して実施例と同様な測定を行い（ $x$ 軸の正方向からX線XRを照射するようにして測定し、X線XRを被検体の $y$ 方向にそのサンプル間隔 $d$ 、ずつ移動して測定を繰り返し、すべての直線 $y=y_1$ についてこれを行って全データの収集を行う）、これらのデータから画像再構成を行う（この直接モード散乱トモグラフィ・イメージでは、 $x$ 方向の解像力は $y$ 方向の解像力よりかなり劣化する）。こうしてこれら2つのイメージを使用し、統計的計算処理により各方向の解像力を向上させる。（これを再構成モード散乱トモグラフィという）。

【0071】この計算例を次に説明する。直接モード散乱トモグラフィのイメージ1は、 $y$ 方向の解像力が劣化しているイメージで、 $x$ 方向の実質的な（意味ある）サンプル間隔 $dx$ 、 $y$ 方向の実質的な（意味ある）サンプル間隔 $dy$ で（ $dy=n \cdot dx$ 、 $n \gg 1$ ）測定と画像再構成がなされているものとする。直接モード散乱トモグラフィのイメージ2は、 $x$ 方向の解像力が劣化しているイメージで、 $x$ 方向の実質的なサンプル間隔 $dx'$ 、 $y$ 方向の実質的なサンプル間隔 $dy'$ で（ $dx'=n \cdot dy'$ 、 $n \gg 1$ ）測定と画像再構成がなされているものとする。この2つのイメージの同一部分について、イメージ1の画像データを $a_i$ （ $i=1, 2, \dots, n$ ）とし、イメージ2の画像データを $b_j$ （ $j=1, 2, \dots, n$ ）とす

15

る。この時、 $s_{ij}$ で表される画像データは、 $x$ 、 $y$ 方向に等しい解像力を持った画像として次のように求める。

【0072】

【数1】

$$S_{ij} = \frac{a_i \times b_j}{\sum_{q=1}^n b_q}$$

【0073】(8) 被測定体を含む3次元の撮影領域R Aを複数の2次元断面に分け、各2次元断面に対して、前記実施例の動作で説明したようにデータの収集を行った後その断面に関する2次元のイメージングを行い、すべての2次元断面に対するイメージングを行うことにより、被測定体の3次元イメージングを行うことができる。

【0074】

【発明の効果】以上詳細に説明したように本発明によれば、散乱線トモグラフィに共通な又は散乱線トモグラフィによって得られる特徴である：必要とされる局部のみの撮影とイメージングができ（非常に高速なイメージングができ）、撮影と同時にイメージを得るいわゆるリアルタイム・イメージングの可能性があり（心臓等のリアルタイム・イメージングの可能性があり）、任意の方向の断面の撮影とイメージングができ（任意方向の解像力を等しく高めることができる）、物質又は組織の同定の可能性を有する等現在のCTにない大きな特長を持ち、又、従来の散乱線トモグラフィに対して従来の2次元撮影を1次元撮影で済ますことができるので、撮影時間を極めて短時間にすることができる（ $1/(\text{数}10) \sim 1/(\text{数}1000)$ ）。

【0075】且つ、撮影は従来の被検体に関する2次元的な走査から1次元的な走査に変わることにより、被検体に対する放射線の被曝線量を極めて少なくすることができる（ $1/(\text{数}10) \sim 1/(\text{数}1000)$ ）。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の装置のブロック図である。

【図2】本発明の一実施例の撮影系の構成の説明図である。

【図3】実施例の装置に用いるスリットの構造の一例を示す図である。

16

【図4】実施例の装置に用いる検出器の一例の形状を示す図である。

【図5】図4の検出器及び検出器要素の一例の構造を示す図である。

【図6】図5の検出器に用いられているマイクロ・チャンネル・プレートの構造と、その作用を示す図である。

【図7】マイクロ・チャンネル・プレートに関連する電気回路を示す図である。

【図8】本発明の他の実施例の装置に用いられる検出器及び検出器要素の一例の構成図である。

【図9】図8に示すイメージ・インテンシファイアの一例の構造図である。

【図10】図8に示す撮像装置の一例のイメージ・ディセクタの構造図である。

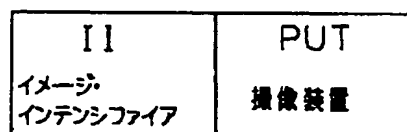
【図11】データ収集装置の一実施例のブロック図である。

【図12】データ収集装置の他の実施例のブロック図である。

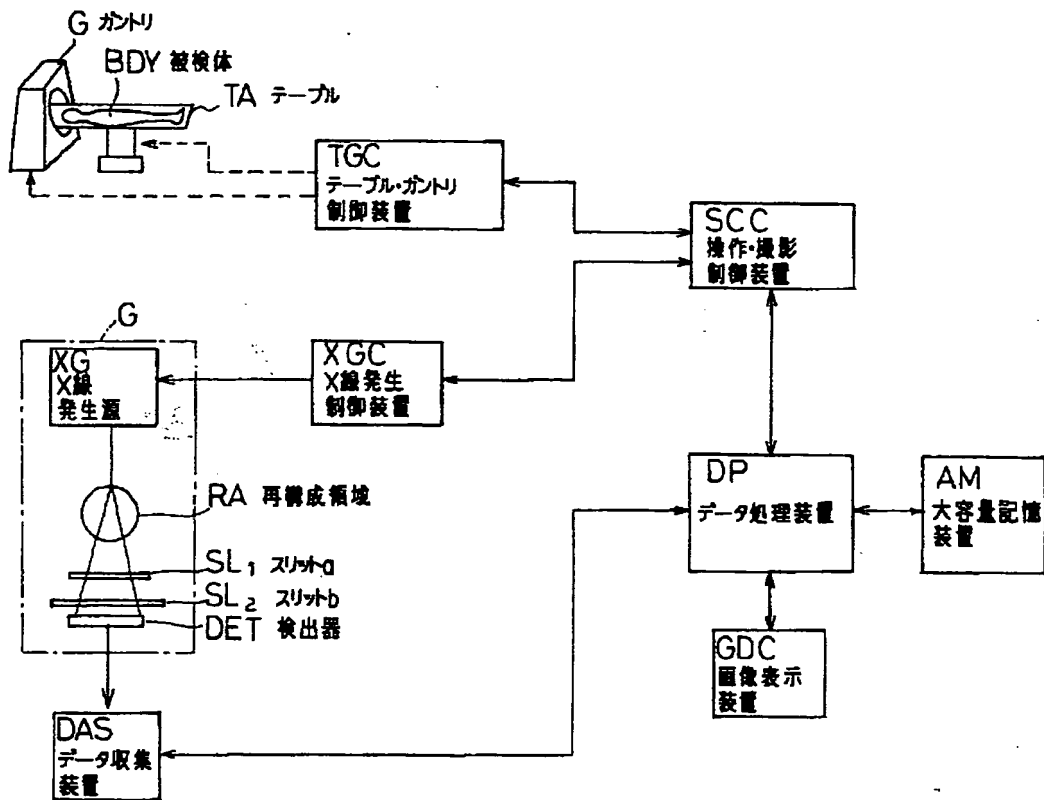
【符号の説明】

20	DAS	データ収集装置
	DC	偏向コイル
	DE <sub>i</sub>	検出器素子
	DET	検出器
	DN	ダイノード
	DP	データ処理装置
	FE	集束電極
	FRS	蛍光面
	G	ガントリ
	II	イメージ・インテンシファイア
30	MAN	マルチ・アノード
	MCP	マイクロ・チャンネル・プレート
	PES	光電面
	PUT	撮像装置
	RA	再構成領域
	R <sub>i</sub>	散乱線
	SL	スリット
	TA	テーブル
	TGC	テーブル・ガントリ制御装置
	XG	X線発生源
40	XR	X線ビーム

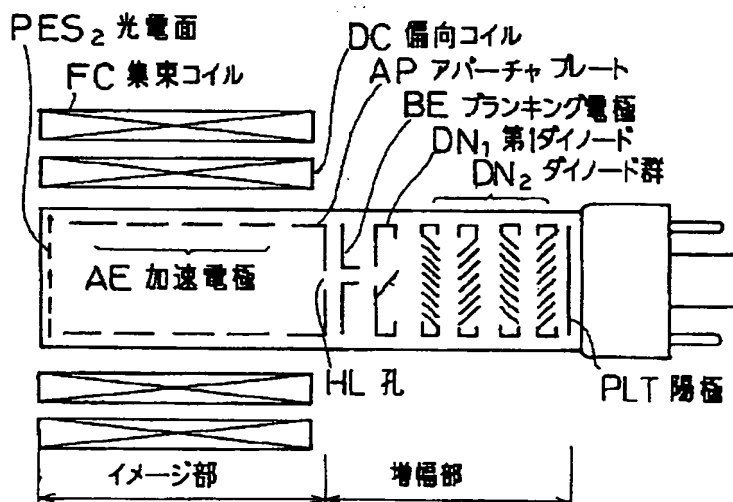
【図8】



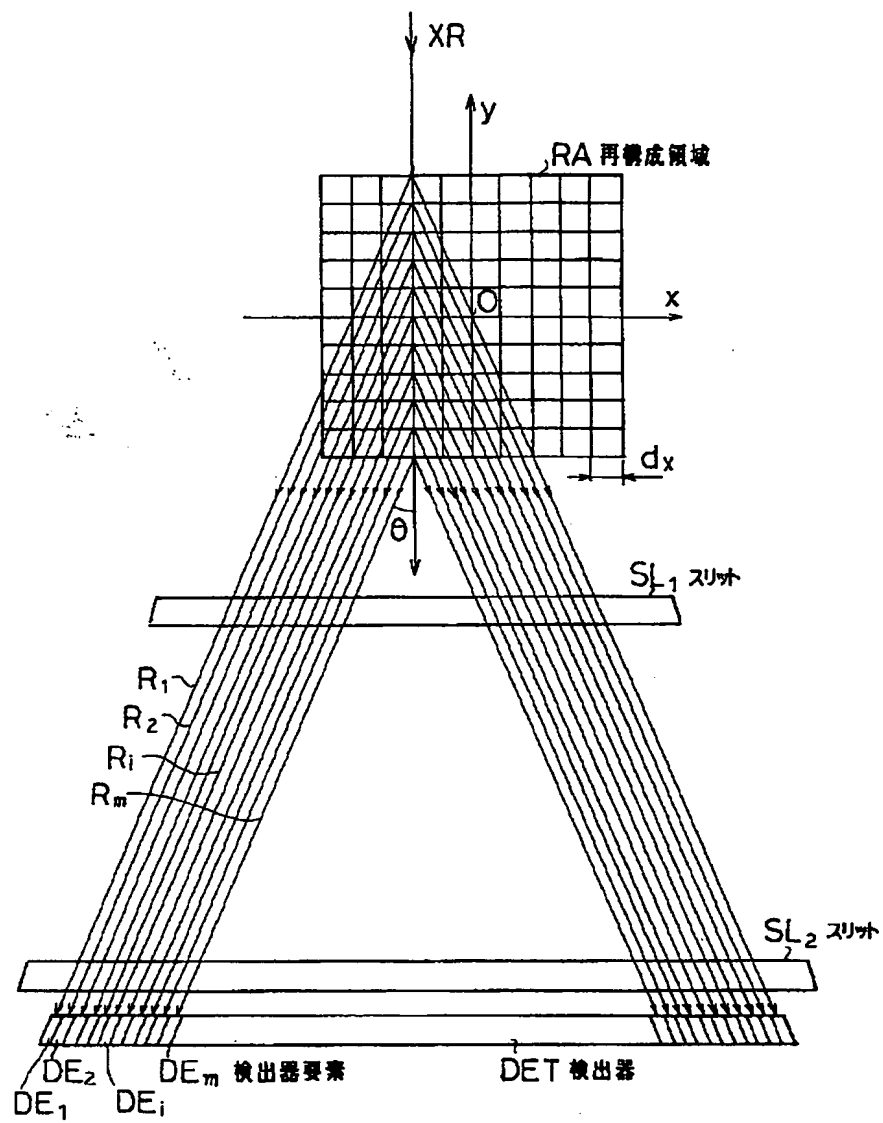
【図1】



【図10】

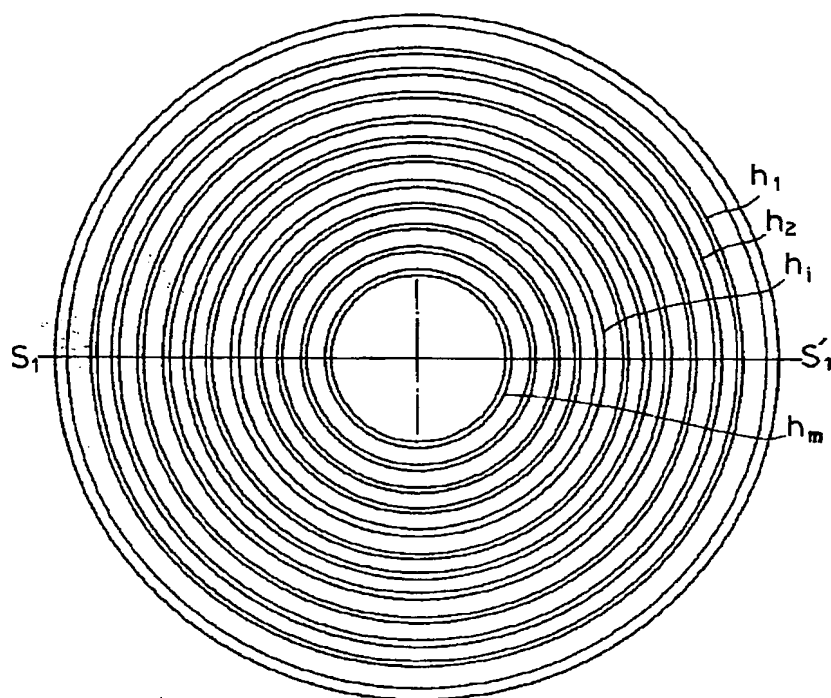


【図2】

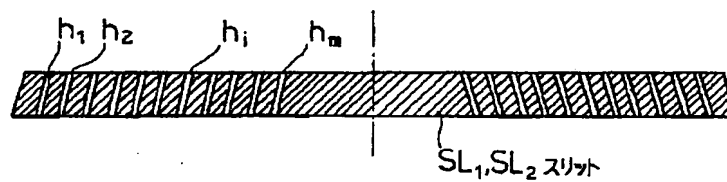


【図3】

(イ)

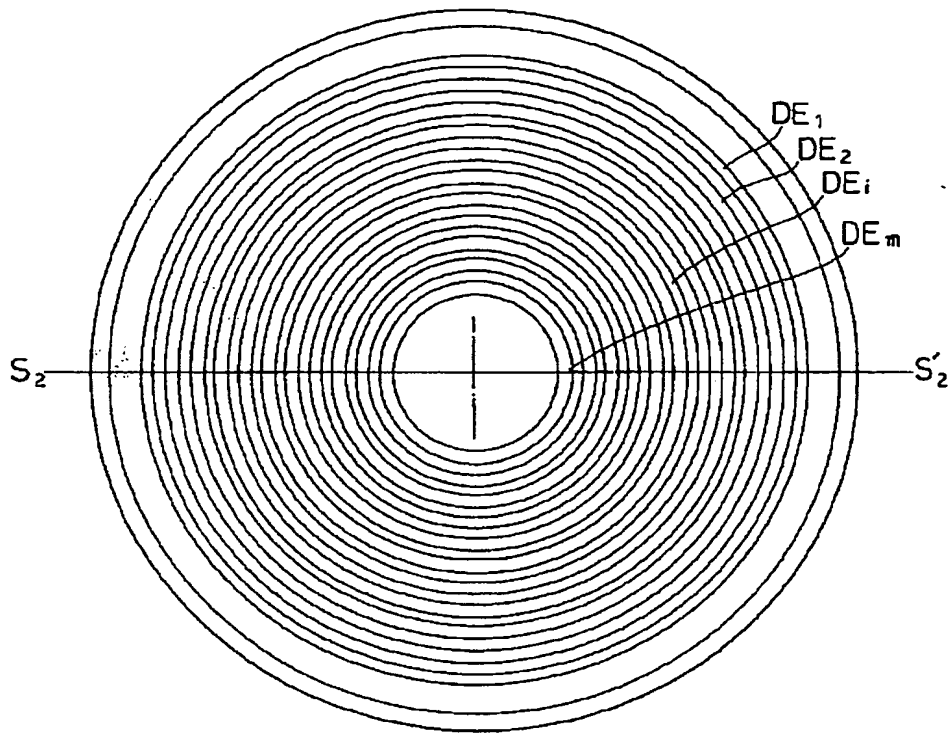


(ロ)

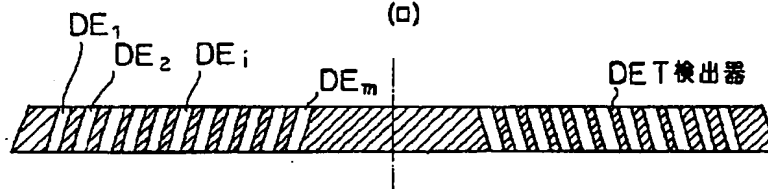


【図4】

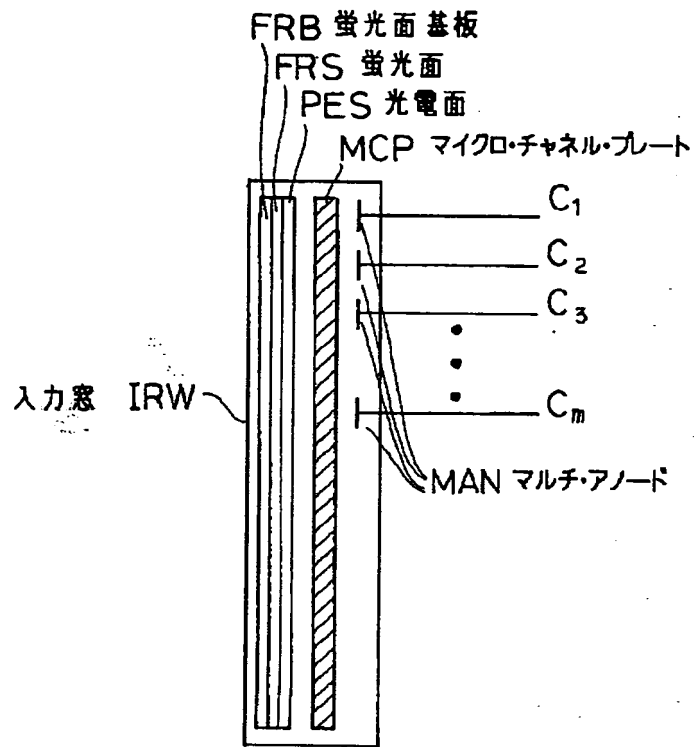
(イ)



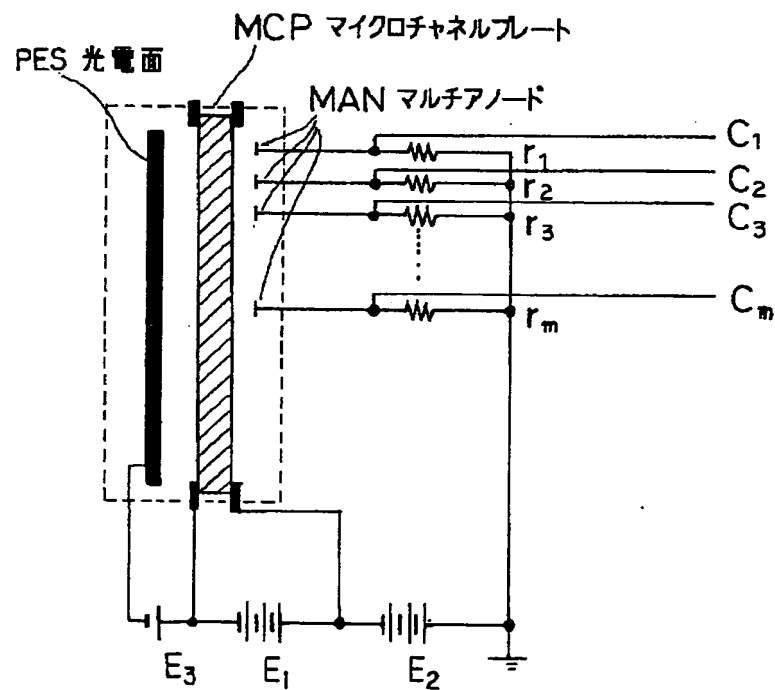
(ロ)



【図5】



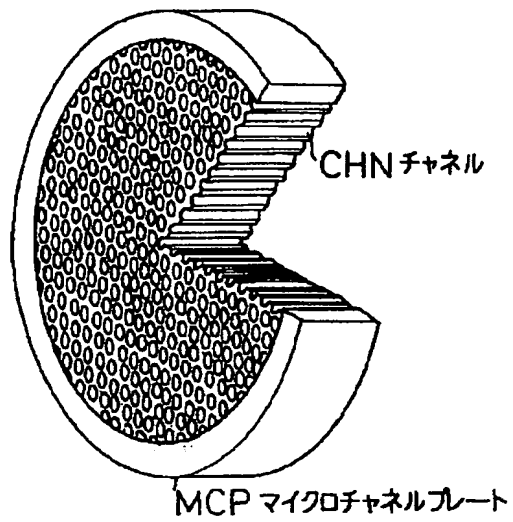
【図7】



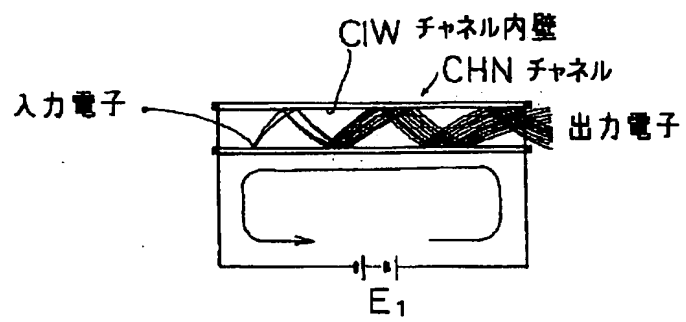


【図6】

(イ)

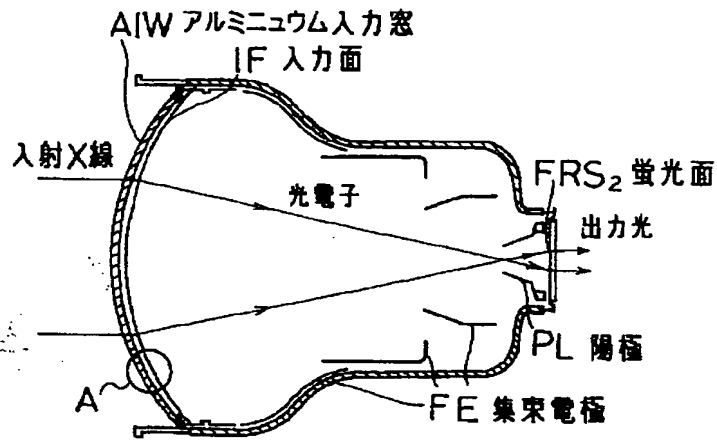


(ロ)

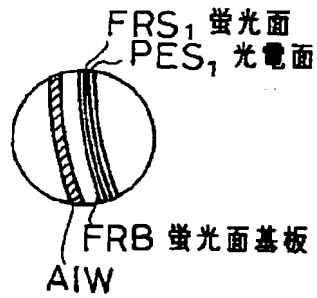


【図9】

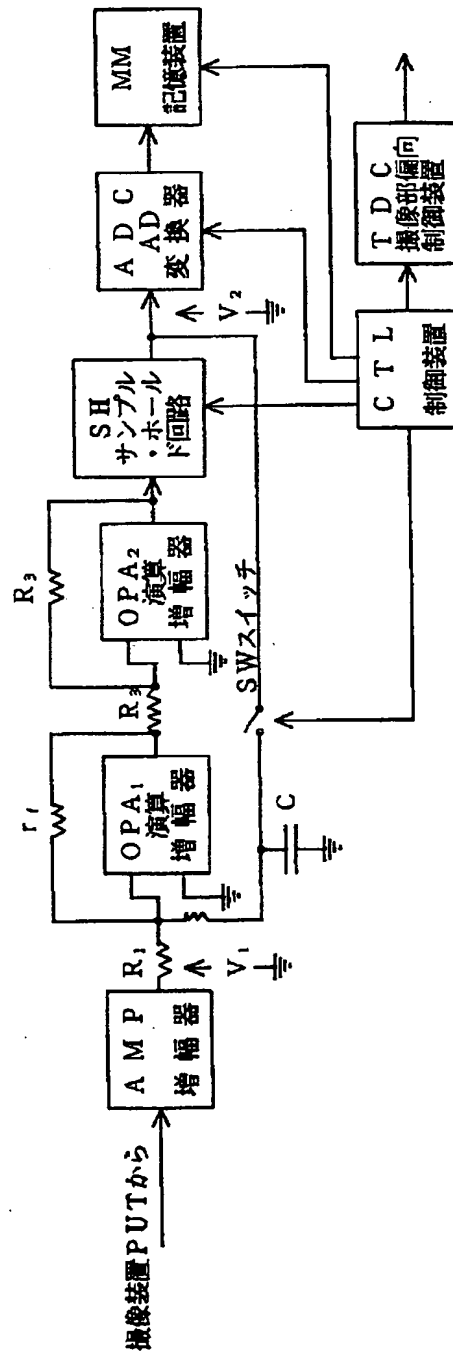
(イ)



(ロ)



【図11】



【図12】

